

PROJEKT

TEORIA I METODY OPTYMALIZACJI

---

# Harmony Search

---

*Autor:*

Artur GASIŃSKI, 218685

Bartosz LENARTOWICZ, 218518

*Termin:* wt 9:15-11:00

*Prowadzący:*

Dr inż. Ewa SZLACHCIC

20 maja 2018

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Opis działania algorytmu</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Implementacja</b>	<b>2</b>
3.1	GUI . . . . .	2
3.1.1	Parametry . . . . .	2
3.1.2	Wykres . . . . .	4
3.1.3	Tabela Rozwiązań . . . . .	4
3.2	Pliki . . . . .	4
3.2.1	Katalog <code>contants</code> . . . . .	4
3.2.2	Katalog <code>core</code> . . . . .	4
3.2.3	Katalog <code>gui</code> . . . . .	5
3.2.4	Katalog <code>helpers</code> . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Przykładowe rozwiązania</b>	<b>6</b>
4.1	Funkcja czterech minimum . . . . .	6
4.2	Funkcja Himmelblau . . . . .	6
4.3	Funkcja sinus-cosinus z eksponentom . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Problemy podczas pracy</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>7</b>
	<b>Bibilografia</b>	<b>8</b>

# 1 Wstęp

Większość metod optymalizacji procesów produkcyjnych czy logistycznych sprowadza się do przedstawienia zależności pomiędzy procesami za pomocą funkcji. Pod postacią zmiennych tego równania ukazane są czynności, którymi firma jest w stanie manipulować. Takie równanie nosi nazwę funkcji celu. By właściwie zoptymalizować proces należy znaleźć, w zależności co poddane jest optymalizacji, minimum bądź maksimum globalne takiej funkcji. Obliczanie minimalnej bądź maksymalnej wartości, zależnej od wielu zmiennych w pożądanym czasie, nie jest zadaniem łatwym. Istnieją specjalne algorytmy do rozwiązywania zadań tego typu. Niniejsza praca została napisana by przedstawić jeden z takich algorytmów – Harmony Search. Wpierw w rozdziale 2 został przedstawiony opis tego algorytmu. Rozdział 3 przedstawia szczegółowo napisany program komputerowy działający na bazie tego algorytmu. Następnie w rozdziale 4 zostały przedstawione przykłady rozwiązań obliczonych przez program. W rozdziale 5 przedstawiono problemy z jakimi borykano się podczas tworzenia programu. Rozdziałem 6 zamykającym pracę jest rozdział przedstawiający podsumowanie pracy nad algorytmem.

## 2 Opis działania algorytmu

Algorytm Harmony Search został przedstawiony w 2001 przez Zong Woo Geem, Joong Hoon Kim oraz G.V. Loganathan w pracy "A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search" [4]. Inspiracją dla algorytmu było szukanie przez muzyków jazzowych podczas improwizacji najlepszych harmonii dźwięków. Jego matematyczny odpowiednik umożliwia on znajdowanie minimów lokalnych funkcji wielu zmiennych. Główna zasada polega wyszukiwaniu rozwiązań na podstawie wartości wcześniej obliczonych oraz modyfikacji nowych zmiennych z określonym z góry prawdopodobieństwem. Szczegółowe przedstawianie algorytmu mija się z celem ponieważ przebieg algorytmu został przetłumaczony na język polski np. w pracy [2]. Algorytm zdobył dużą popularność ponieważ w bardzo krótkim czasie właściwie wyszukuje rozwiązanie.

## 3 Implementacja

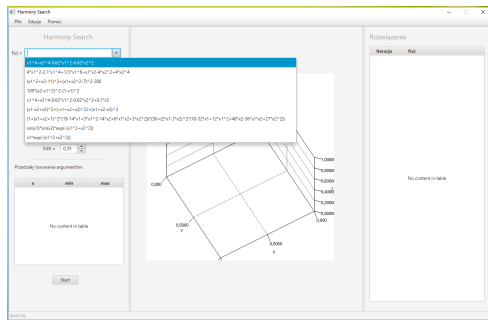
Program do obliczania minimum funkcji na podstawie algorytmu Harmony Search został napisany w języku Java. Technologią dostarczającą GUI dla użytkownika była *JavaFx*. Korzystał on również z zewnętrznej biblioteki do obliczania wartości funkcji w punkcie [3]. Wykres prezentujący najlepsze rozwiązanie zaznaczone na wykroju z przestrzeni rozwiązań funkcji został stworzony za pomocą biblioteki *jzy3D*. Poniżej zostanie szczegółowo omówiony wygląd czyli GUI programu oraz struktura plików i katalogów.

### 3.1 GUI

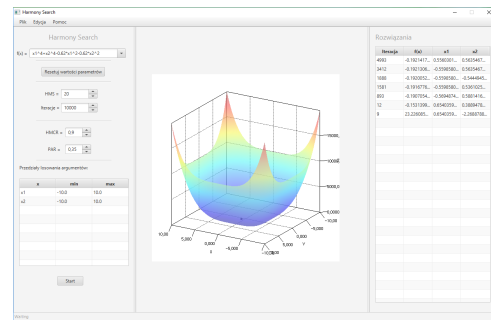
By ułatwić wprowadzanie funkcji do programu oraz bezproblemowo odczytywać wyniki obliczone przez program zostało stworzone GUI programu. Na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono etapy działania programu. Poszczególne elementy GUI podczas działania programu nie zmieniają swojego położenia. Jedynie pustych w miejscach zostają wyświetlone ich parametry, dlatego by omówić elementy posłużono się rysunkiem 3, gdzie widnieje obraz programu po obliczeniach. Główne okno programu zostało podzielone pionowo na trzy części. Pierwsza część od lewej przeznaczona jest do wpisania funkcji i jej parametrów, środkowa prezentuje wykres, a część prawa w tabelce wyniki obliczeń programu. Wszystkie części zostaną szczegółowo opisane poniżej.

#### 3.1.1 Parametry

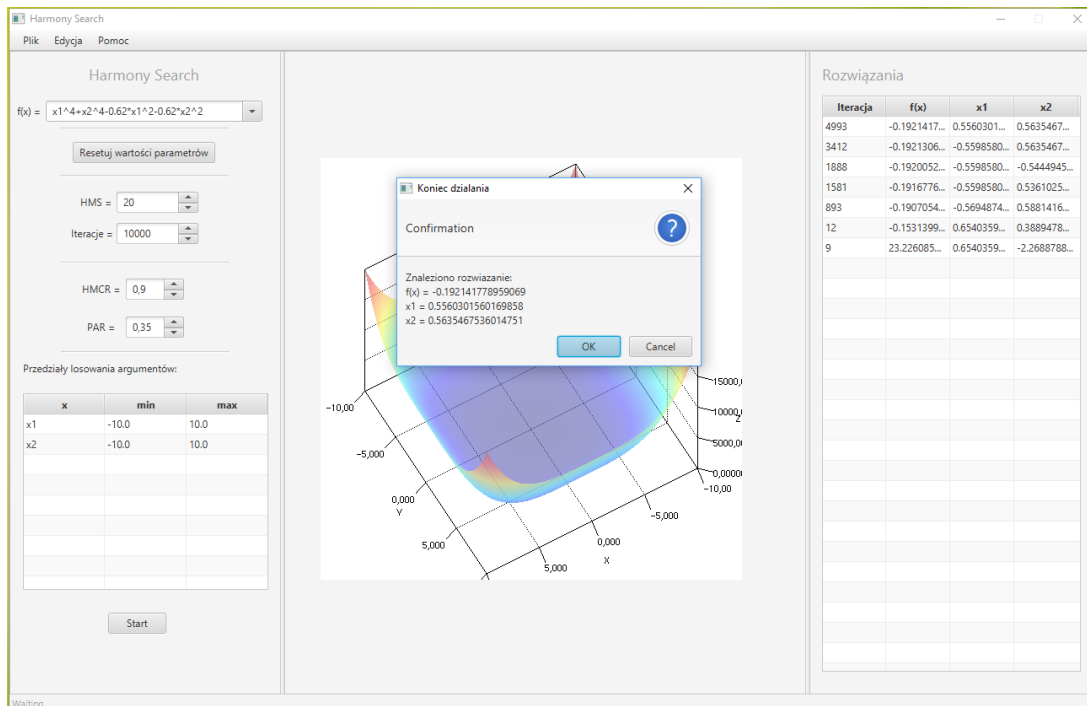
W części parametrów można dostrzec, że zaraz pod paskiem edycji znajduje miejsce do wpisania funkcji. Jest to ta sama funkcja której minimum należy wyznaczyć. Okno umożliwia również wybór takiej funkcji z wcześniej zadeklarowanych w programie. Dokonuje się tego klikając w rozwijane menu. Zostało to przedstawione na rysunku 1. Po wybraniu funkcji automatycznie zostaną domyślnie uzupełnione wszystkie parametry obliczeń. Oczywiście możliwa jest dostosowanie algorytmu do własnych potrzeb. Poniżej okna funkcji znajduje się przycisk „Resetuj wartości parametrów” umożliwiający, jak mówi nazwa, reset do parametrów domyślnych. Poniżej przycisku zostały umieszczone po sobie cztery główne parametry algorytmu *Harmony Search*.



Rysunek 1: Wpisywanie funkcji



Rysunek 2: Wykres z zaznaczonym rozwiązaniem



Rysunek 3: Obliczone rozwiązanie wraz z komunikatem

Pierwszy z parametrów HMS (*ang. harmony memory size*) reguluje ilość zapamiętywanych rozwiązań podczas wyszukiwania. Domyślnie rozmiar jest zadeklarowany na 20. Poniżej znajduje się okno o nazwie **iteracje**. Domyślnie jest zadeklarowana maksymalna wartość iteracji równa 10000. W każdej iteracji programu algorytm wyszukuje nowe rozwiązanie i sprawdza je z tymi zapisanymi w HMS. Czym większa ilość iteracji tym algorytm powinien obliczać dokładniejsze rozwiązanie, kosztem wydłużonego czasu obliczeń. Następnie pod polem **iteracje** znajduje się pole HMCR (*ang. harmony memory consideration ratio*). Tłumaczenie określa go jako współczynnik wyboru tonu z pamięci. Jest to współczynnik prawdopodobieństwa wybierany z zakresu (0,1). Czym HMCR jest większe tym wyszukiwane wartości  $x$  następnych rozwiązań będą zbliżone do tych istniejących już w tablicy HMS. Poniżej znajduje się drugi parametr prawdopodobieństwa dla funkcji o nazwie PAR (*ang. pitch adjustment ratio*) tłumaczony jako współczynnik dostosowywania tonu. Wybierany jest również z zakresu (0,1). Na samym dole kolumny znajduje się tabela **Przedziały losowania argumentów**. W tabeli deklarowany jest przedziały wszystkich wartości  $x$  dla których ma być poszukiwane rozwiązanie. Domyślnie parametry dla wszystkich  $x$  brane są z przedziału  $(-10, 10)$ . Algorytm z dużą dokładnością znajdzie najmniejsze minimum lokalne dla funkcji z podanego przedziału. Po wybraniu wszystkich parametrów można przystąpić do uruchomienia algorytmu przyciskiem **Start** znajdującym się na na dole kolumny.

### 3.1.2 Wykres

Środkowy obszar okna głównego przeznaczony jest do wyświetlania wykresu funkcji. Jak wspomniane zostało na początku rozdziału 3, do rysowania wykresów została użyta zewnętrzna biblioteka *jzy3D*. Umożliwia ona tworzenie wykresów dwu i trzy wymiarowych. Wykresy można obracać w dowolny sposób. Oś  $X$  i  $Y$  wykresu wyskalowana jest do najmniejszego i największego parametru wszystkich wartości  $x$ . Dodatkowo wartości zostały pokolorowane w tak, że mniejsze wartości funkcji mają kolory zimniejsze, a wyższe kolory cieplejsze, analogicznie do tego jak przedstawia się wysokość n.p.m. w kartografii. Dodatkowo czarną kropką zaznaczona została najmniejsza obliczona wartość funkcji.

### 3.1.3 Tabela Rozwiązań

Po prawej stronie okna głównego można dostrzec najlepsze rozwiązania wyszukane przez program. Gdy znajdowane jest rozwiązanie lepsze od najlepszego rozwiązania zapamiętanego w HMS dodawane jest ono jako pierwszy wiersz w tabeli. Poprzednie rozwiązania przesuwane są o jedno miejsce niżej. Pozwala to śledzić jaką wartość jest aktualnie największa oraz od razu ukazuje się obok numer iteracji tego rozwiązania. Gdy algorytm długo oblicza najlepszy wynik okno pozwala śledzić postęp obliczeń. Dodatkowo po wykonaniu wszystkich iteracji zostaje wyświetlony komunikat z najlepszym rozwiązaniem (pierwszym od góry), co przedstawia rysunek 3.

## 3.2 Pliki

Program był pisany w środowisku programistycznym *IntelliJ IDEA*. Jak wcześniej wspomniano do stworzenia GUI programu użyto technologii *JavaFx* umożliwiającej tworzenie aplikacji okienkowych. Dodatkowo by ułatwić zarządzanie bibliotekami wewnątrz programu użyto wsparcia ze strony *Maven*. By ułatwić zrozumienie tekstu stworzono graficzną wersję struktury plików i katalogów. Główny kod programu został umieszczony katalogu `src`. Katalog zawiera w sobie dwa inne katalogi `resources` oraz `java`. Katalog `resources` posiada jeden folder w którym umieszczony jest plik `main.fxml` odpowiedzialny GUI programu. W tym pliku zapisane są informacje o ułożeniu i wielkości elementów, które widzi użytkownik. Można powiedzieć że plik odpowiada za foreground programu.

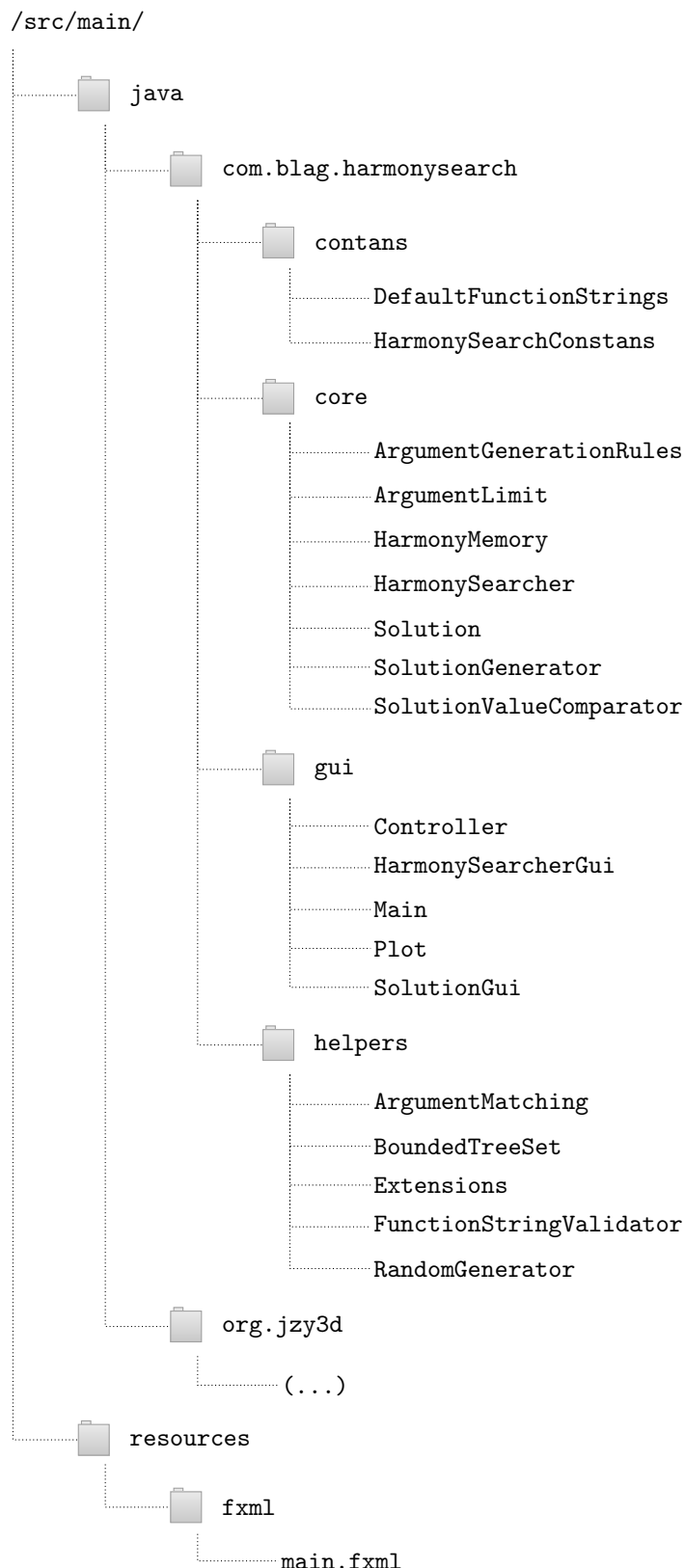
Cała background programu czyli jego mechanika jest umieszczona w folderze `java`. Posiada on dwa podfoldery `org.jzy3d` oraz `com.blag.harmonysearch`. Pierwszy katalog odpowiedzialny jest za generowanie wykresów w oknie opisywanym w rozdziale 3.1.2. Są to pliki zewnętrzne pobrane ze strony [1]. Katalog `com.blag.harmonysearch` zawiera cztery foldery. Każdy z nich posiada pliki napisane na potrzeby tego projektu. Dla czytelności opisu zostaną one przedstawione jako kolejne podrozdziały.

### 3.2.1 Katalog contents

W tym katalogu zadeklarowane są tylko dwa pliki. W pliku `DefaultFunctionStrings` zadeklarowano przykładowe funkcję wspomnianą w 3.1.1. Plik `HarmonySearchConstants` odpowiada za domyślne parametry.

### 3.2.2 Katalog core

W katalogu `core` znajdują się najważniejsze pliki odpowiedzialne za działanie programu. Klasa `ArgumentGenerationRules` jest klasą przechowującą zasady generowania argumentów. Klasa `ArgumentLimit` implementuje zakres z jakiego wyszukiwane będą elementy. Główną klasą gdzie przechowywane są wartości jest klasa `HarmonyMemory`. Posiada ona tablice rozwiązań, której wielkość jest regulowana z GUI programu. Klasą gdzie zadeklarowany jest główny algorytm czyli gdzie wykonywane są operacje obliczeń jest klasa `HarmonySearcher`. Wylosowane rozwiązanie przekazywane jest jako lista złożona z typu `Solution`. Klasa `SolutionGenerator` umożliwia wygenerowanie nowych wartości  $x$  dla którego zostanie obliczone rozwiązanie. Ostatnia klasa w tym pliku `SolutionValueComparator`, porównuje czy rozwiązanie dla wylosowanych  $x$  jest lepsze od rozwiązań zadeklarowanych w tablicy.



### 3.2.3 Katalog gui

W katalogu znajdują się klasy odpowiedzialne za kontrolowanie tego co ma wypisać bądź wyrysować się na ekranie. Katalog `Controller` dostarcza bezpośrednio wartości do pliku `main.fxml`. Do obliczeń pobiera wartości z klasy `HarmonySearcherGui`. Klasa `Main` aktywowana jest po rozpoczęciu pracy pro-

gramu jako pierwsza i pobudza całość programu do działania. Wykres tworzony jest dzięki obiektowi klasy `plot`, a w obiekcie klasy `SolitionGui` wyświetlane są wyniki. Klasy `Gui` są rozszerzeniem klas z folderu `core` opisanych w 3.2.2.

### 3.2.4 Katalog helpers

Katalog zawiera głównie klasy pomocne będące rozszerzeniem klas podstawowych *Javy*. Klasy rozwijają Listy, drzewa, generatory i wiele innych klas o funkcjonalności niezbędne do działania programu. Zostały wykorzystane jako wsparcie w implementacji w plikach z katalogu `core`.

## 4 Przykładowe rozwiązania

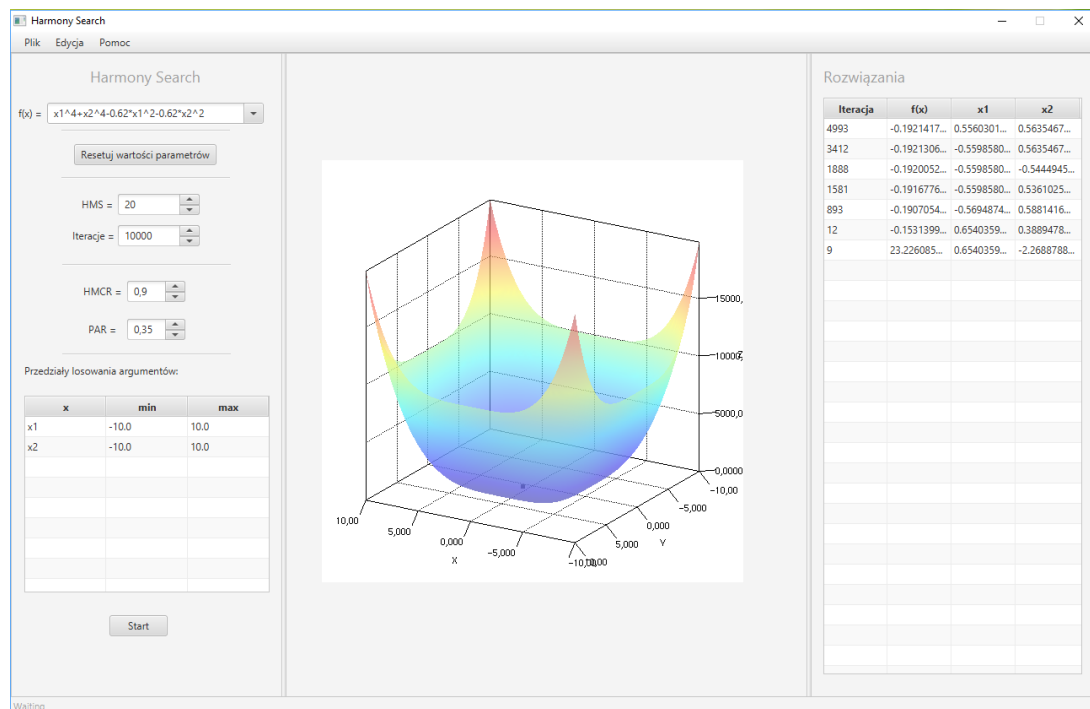
W tej części zostały przedstawione trzy przykłady funkcji dwóch zmiennych  $x_1$  i  $x_2$  wraz z obliczonymi rozwiązaniami.

### 4.1 Funkcja czterech minimum

Pierwsza zostanie przedstawiona funkcja posiadająca cztery minima lokalne. Posiada ona następujący wzór:

$$f(x) = x_1^4 + x_2^4 - 0.62x_1^2 - 0.62x_2^2$$

Na przykładzie tej funkcji zostało również omówione GUI programu w rozdziale 3.1. Rysunek 4 prezentuje wykres funkcji wraz z najlepszą wartością. Dokładną wartość można odczytać po prawej stronie i jest to 4993 iteracja równa  $f(0.5560, 0.5635) = -0.1914$ . Poniżej zaprezentowany jest wykres funkcji.



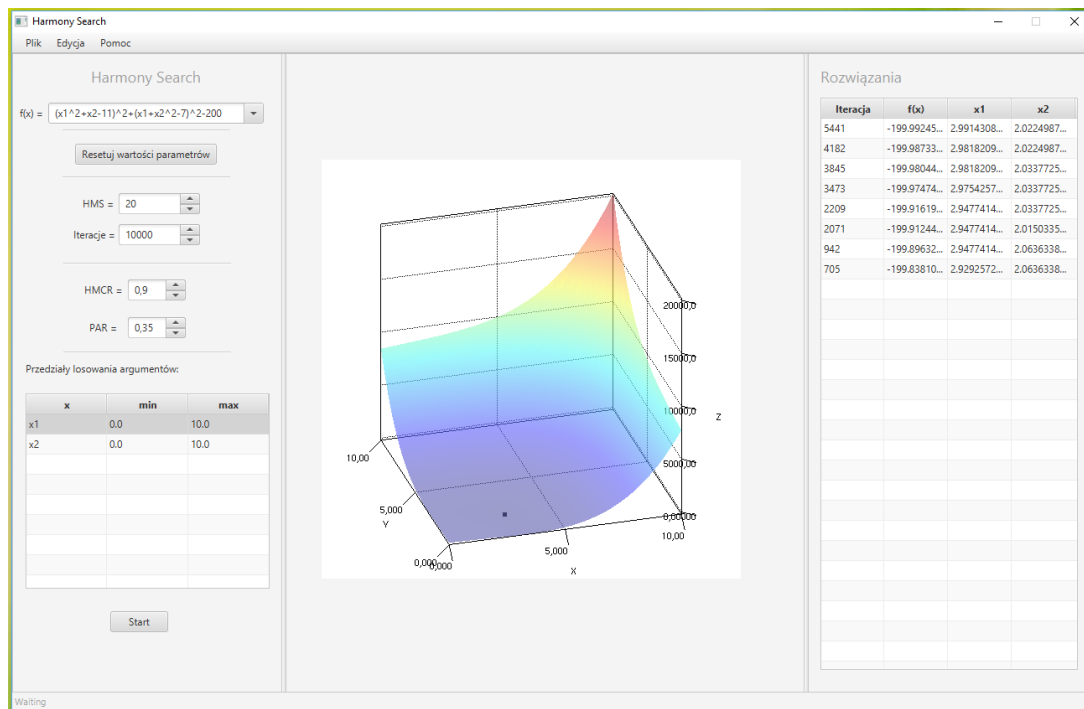
Rysunek 4: Wykres funkcji czterech minimum

### 4.2 Funkcja Himmelblau

Funkcja Himmelblau również jak 4.1 posiada cztery minima lokalne zlokalizowane po jednym w każdej ćwiartce na przedziale  $x_{1,2} \in (-5, 5)$ . Funkcja posiada wzór:

$$f(x) = (x_1^2 + x_2 - 11)^2 + (x_1 + x_2^2 - 7)^2 - 200$$

. Dla pokazania, że funkcja wyszukuje rozwiązania z innego przedziału jak domyślny ograniczono się do przedziału z pierwszej ćwiartki  $x_1, x_2 \in (0, 10)$ . Na wykresie 5 zaprezentowany został wykres funkcji wraz z naniesionym najlepszym rozwiązaniem.



Rysunek 5: Wykres funkcji Himmelblau

### 4.3 Funkcja sinus-cosinus z eksponentom

Ostatnia przedstawiana funkcja ukazuje przypadek połączenia funkcji sinus-cosinusa z eksponent. Przypadek jest o tyle ciekawy, że większość wartości funkcji jest dla  $x_1, x_2$  jest do siebie zbliżona. Blisko jej wartość ulega dużemu odchyłowi. Wzór funkcji przedstawiony jest jako:

$$f(x) = x_1 e^{-(x_1^2 + x_2^2)}$$

. Rysunek 6 prezentuje działanie programu z obliczoną wartością minimalną. Jak możemy dostrzec program dobrze wyliczył jej wartość co potwierdza jego odporność na działanie funkcji, dla której większość argumentów jest stała.

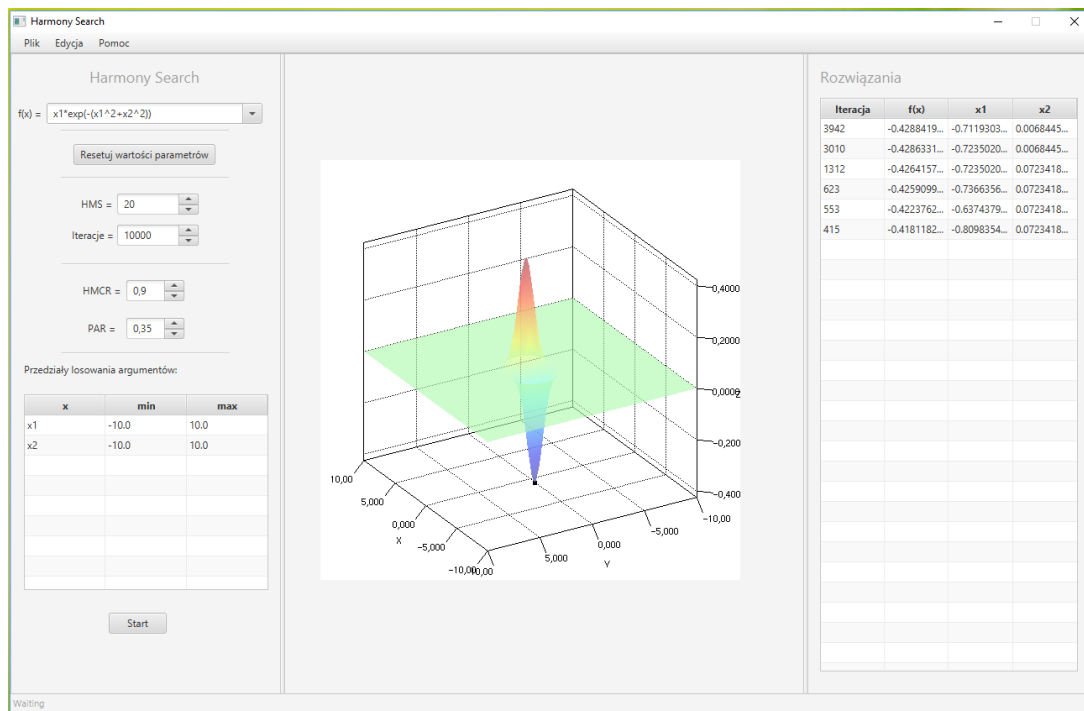
## 5 Problemy podczas pracy

Jednym z problemów z jakim musiał poradzić sobie program było prezentowanie danych. Algorytm jest zdolny do obliczania funkcji wielu zmiennych dla  $x_n, n \in N$ . Prezentowanie zmiennych w tabelach jest rzeczą dającą się w prosty sposób rozwinąć. Jednak rysowanie wykresu dla  $n \leq 2$  ilości zmiennych nie jest możliwy. Najładniejsze wykresy powstają dla  $n = 2$  dlatego funkcje o dwóch zmiennych zostały przedstawione w rozdziale 4.

## 6 Podsumowanie

Program obliczający minimum funkcji wielu zmiennych według algorytmu *Harmony Search* działa tak jak założono na początku. Spełniły się domniemania na temat szybkości funkcji. oczywistym jest, że program najdokładniej przybliży rozwiązanie gdy zakres wartości  $x$  będzie jak najbliższy minimum funkcji. Dodatkowo gdy zmniejszymy ilość iteracji program zakończy szybciej swoje działanie, kosztem gorszego przybliżenia.





Rysunek 6: Wykres funkcji sinusa-cosinusa z eksponentom

## Literatura

- [1] Jzy3d. <http://www.jzy3d.org/>, 2016.
- [2] Kowal Andrzej. Algorytm „harmony search”.
- [3] Mariusz Gromada. Mathparser. <https://mvnrepository.com/artifact/org.mariuszgromada.math/MathParser.org-mXparser>, 2017.
- [4] G.V. Loganathan Kang Seok Lee, Zong Woo Geem. A new heuristic optimization algorithm: Harmony search, 2005.